

## TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO EM SÉRIE COM RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA

Catiucia Keli Sievers<sup>1</sup> e Adilson Pinheiro<sup>2</sup>

**Resumo:** A integração dos conceitos de drenagem urbana sustentável e de uso racional da água constitui-se em elemento essencial em novos empreendimentos implantados em áreas urbanas. Com isso, este trabalho tem por objetivo fornecer um instrumento de apoio para o pré-dimensionamento de duas medidas de controle do escoamento na fonte, a trincheira de infiltração e o reservatório de água de chuva, funcionando em série. O volume do reservatório de aproveitamento de água da chuva é obtido utilizando-se o método de Simulação, no qual os valores de entrada dependem da série histórica da precipitação diária, da área de cobertura de coleta e da demanda de água. Fixada a capacidade de armazenamento do reservatório, o volume excedente é descartado. Para a obtenção das dimensões da trincheira de infiltração, por sua vez, utilizaram-se os métodos da Curva Envelope e de PULS. No método de PULS considera-se o reservatório funcionando em série e, portanto, o valor de entrada é igual ao descarte do reservatório enquanto que o volume de saída depende da taxa de infiltração de água no solo. Os resultados obtidos indicam uma significativa redução no comprimento da trincheira quando se tem um dispositivo instalado em série. Além disso, as medidas de controle na fonte auxiliam na redução do escoamento superficial lançado no sistema de drenagem e na manutenção das funções hidrológicas em nível do lote.

**Palavras-chave:** Medidas compensatórias. Trincheira de infiltração. Aproveitamento de água da chuva. Drenagem urbana sustentável. Uso racional da água.

### 1 Introdução

A alteração das condições dos solos devido ao desenvolvimento urbano tem desencadeado o descontrole do ciclo hidrológico. Segundo Righetto (2009), a urbanização gera alterações significativas no meio ambiente e também nos processos hidrológicos, devido às intervenções do ser humano sobre o uso e ocupação dos solos e nos cursos de água.

O crescimento acelerado da urbanização tem desencadeado uma série de problemas provenientes da degradação ambiental. Trata-se de um consumo irracional dos elementos da natureza, sem pensar no impacto que pode ser causado às gerações futuras. Baseado nisso, surge então o conceito de desenvolvimento sustentável, o qual procura minimizar o desperdício para que as futuras gerações não sofram com a falta de recursos naturais.

No relatório de Brundtland, publicado em 1987, o qual foi desenvolvido em virtude da crise ambiental e social pela qual a humanidade passava na segunda metade do século XX, está descrita uma das definições

mais difundidas deste conceito: “O desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades.” (BARBOSA, 2008, p. 64). Em suma, o desenvolvimento sustentável trata de um processo de formulação de políticas que permitem um desenvolvimento que seja sustentável sob o ponto de vista econômico, social e ambiental.

Reigota (1998) reforça que o desenvolvimento sustentável consiste em não exaurir os recursos disponíveis no mundo, a fim de que as próximas e futuras gerações herdem a terra como um habitat hospitaleiro e não insalubre. O consumo da população atual não pode implicar em dívida com as gerações futuras.

Neste contexto, ressalta-se que o conceito de desenvolvimento sustentável estende-se a tudo, inclusive à drenagem urbana. Segundo Pompêo (2000, p.17), “A perspectiva da sustentabilidade associada à drenagem urbana introduz uma nova forma de direcionamento das ações, baseada no reconhecimento da complexidade das

<sup>1</sup> E-mail: catiuciaks@outlook.com

<sup>2</sup> E-mail: pinheiro@furb.br

relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade.”.

Assim, surge um novo desafio para o planejamento dos sistemas de drenagem, pois se buscam medidas que integrem as funções essenciais associadas aos meios de reaproveitamento dos recursos naturais. Dessa forma, tratam-se dos conceitos de drenagem referentes à reutilização da água, visto que sua escassez tem gerado preocupação à população. Tucci (2007) afirma que se nada for feito visando à conservação e uso racional da água, possivelmente dois terços da população mundial poderá ser afetada, de alguma forma, pela falta de água.

Além de auxiliar na diminuição do consumo de água, a captação das águas provenientes das precipitações influencia na diminuição do escoamento superficial, contribuindo ao sistema de macrodrenagem e, conseqüentemente, no controle dos alagamentos e das inundações. Righetto (2009) ressalta que as ações que integram a gestão das águas devem tratar não somente do problema específico das enchentes, mas, sobretudo, o uso racional do espaço urbano, de forma a se otimizar o bem-estar, a qualidade de vida, a estética e as múltiplas possíveis atividades de utilização do meio ambiente urbano.

Dessa forma, viabiliza-se a utilização de água da chuva para fins não potáveis, considerando estes como sendo, por exemplo, descarga de bacias sanitárias, irrigação de gramados, lavagem de carros, entre outros. Assim, surgem as construções sustentáveis, as quais contemplam medidas que permitem a gestão ecológica da água, além de integrarem meios de economia de energia, minimização da liberação de materiais perigosos no ambiente e diminuição do consumo de matérias-primas naturais.

Faz-se necessário a utilização de técnicas compensatórias, com o intuito de minimizar os efeitos da urbanização. Surgem então as medidas de controle na fonte geradora, sendo que neste trabalho serão apresentados o reservatório de água de chuva e a trincheira de infiltração, funcionando em série.

Com isso, este trabalho tem por objetivo o estudo de um instrumento de apoio para aproveitamento de água de chuva e controle de escoamento da precipitação nos lotes, fornecendo dados para o dimensionamento adequado de um reservatório de água de chuva em série com

uma trincheira de infiltração. Os dados obtidos são aplicáveis a todo o Alto Vale do Itajaí. Dessa forma, efetuam-se o pré-dimensionamento do reservatório de água de chuva e da trincheira de infiltração, avaliando-se o funcionamento como medidas conjuntas de controle na fonte.

## 2 Material e métodos

Neste estudo a área analisada abrange uma determinada região de Santa Catarina, sendo considerados os municípios que fazem parte do Alto Vale do Itajaí. Para isso, foram escolhidos os principais municípios que fazem parte desta área, de forma que possam ser analisados e uniformizados os resultados obtidos, sendo eles, Ibirama, Ituporanga, Rio do Sul e Taió. Na figura 1 é apresentada a localização dos municípios e as estações pluviométricas utilizadas no estudo.

### 2.1 Dimensionamento do reservatório de água de chuva

Para o cálculo do volume do reservatório de água de chuva, o método utilizado é o da Simulação, proposto pela NBR 15527 (ABNT, 2007) que diz respeito ao aproveitamento de água de chuva proveniente de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Neste caso, tem-se a fórmula geral, apresentada pela equação 1.

$$V_{t+1} = V_t + C \cdot \frac{P_t}{1000} \cdot A - D_t \quad (1)$$

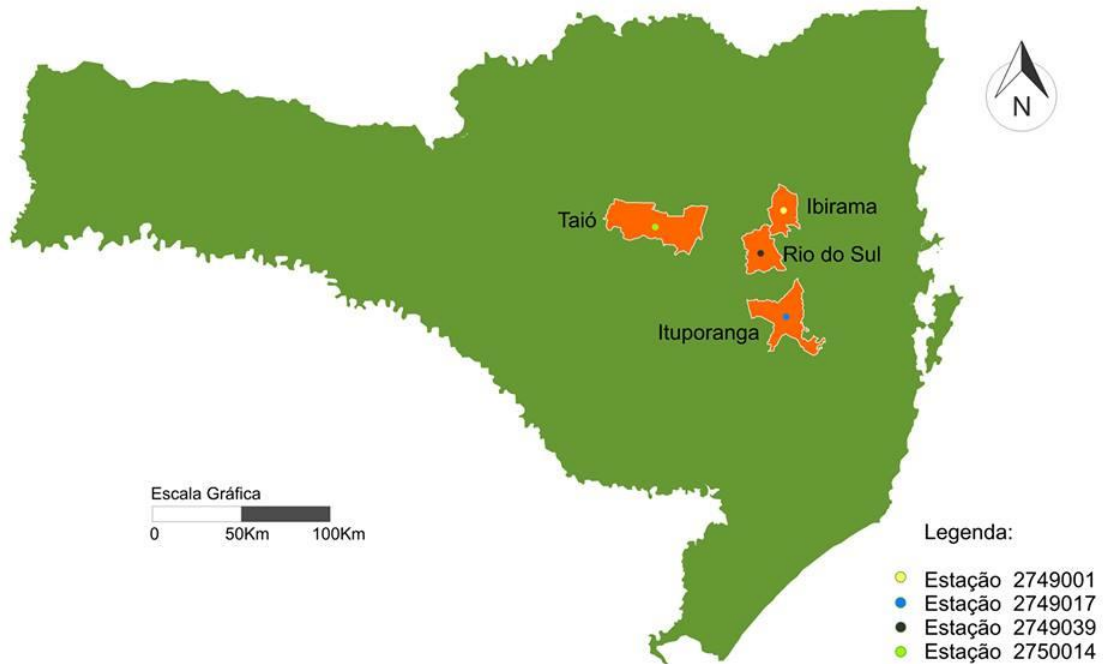
onde  $V_{t+1}$  é o volume no final do dia ( $m^3$ );  $V_t$  é o volume no início do dia ( $m^3$ );  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional);  $P_t$  é a precipitação da chuva diária (mm);  $A$  é a área de captação ( $m^2$ );  $D_t$  é a demanda diária ( $m^3$ ).

Destaca-se que neste trabalho foram consideradas quatro áreas de captação, sendo elas 100, 200, 300 e 400  $m^2$ . Em relação à demanda, foram adotadas três possibilidades, 5, 10 e 15  $m^3$  mensais, distribuídas em 30 dias visto que o cálculo é diário. Dessa forma, têm-se demandas diárias de 166,7, 333,3 e 500,0 L. Além disso, calcula-se o reservatório de modo que se tenha uma eficiência de atendimento de 80, 90 e 95%. A eficiência é obtida pela relação entre o número de dias com demanda atendida e o número total de dias

simulados. O coeficiente de escoamento superficial foi considerado igual a 0,8 e os dados de precipitação diária foram obtidos

no site da Agência Nacional de Águas (2013). As séries possuem mais de 34 anos de dados diários.

Figura 1 – Localização dos municípios em estudo e as estações pluviométricas



Fonte: Autores (2013).

## 2.2 Dimensionamento da trincheira de infiltração

Para o dimensionamento da trincheira de infiltração foram analisados os métodos da Curva Envelope, apresentado por Silveira e Goldenfum (2007) e o método de PULS, apresentado por Lucas, Barbassa e Moruzz (2013). O primeiro método foi aplicado para dimensionamento da trincheira de infiltração sem aproveitamento de água de chuva e o segundo para o caso em que o reservatório da água de chuva encontra-se instalado em série com a trincheira de infiltração. Dessa forma, é possível fazer uma comparação das dimensões da trincheira, analisando se há redução quando for instalado um dispositivo em série.

Em se tratando do método da Curva Envelope, este apresenta a fórmula geral para o cálculo da profundidade da trincheira, indicado pela equação 2 (SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

$$H = \left[ \frac{k_1 \cdot (k_2 - \sqrt{n})}{n - k_2^2} \right]^2 \quad (2)$$

onde  $n$  é a porosidade do material de enchimento da trincheira, adotado 0,38 (adimensional),  $k_1$  e  $k_2$  são coeficientes obtidos a partir da curva intensidade-duração e frequência, das dimensões da trincheira, das condições de escoamento de água no solo e da taxa de infiltração de água no solo. O coeficiente  $k_1$  é obtido pela equação 3.

$$k_1 = \sqrt{\frac{a}{60}} \cdot \sqrt{\beta} \cdot T^{\frac{b}{2}} \quad (3)$$

onde  $\beta$  é o produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo (adimensional);  $T$  é o período de retorno (anos);  $a$  e  $b$  são os parâmetros da equação IDF (adimensional).

Adota-se um período de retorno igual a cinco (5) anos. Em seguida, para o cálculo do coeficiente  $k_2$  emprega-se a equação 4.

$$k_2 = \sqrt{\frac{c}{60}} \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{q_s} \quad (4)$$

onde  $c$  é o parâmetro da equação IDF;  $\gamma$  é a razão entre a área de percolação e o volume do dispositivo ( $\text{mm}^{-1}$ );  $q_s$  é a vazão de saída constante do dispositivo ( $\text{mm/h}$ ).

O coeficiente  $\gamma$  se trata da razão entre a área de percolação e o volume do dispositivo, que corresponde à área de passagem da água da trincheira para o solo por suas paredes laterais, sem considerar o fundo devido à colmatação rápida. A vazão de saída constante do dispositivo considera o coeficiente redutor devido à colmatação e a condutividade hidráulica saturada. A condutividade hidráulica foi estimada pela equação de pedotransferência apresentada por Campbell (1985). Ela considera a composição granulométrica do solo, a qual foi obtida de EMBRAPA (2004).

O método de PULS parte do princípio de que a vazão de entrada da trincheira é igual ao volume de extravasamento do reservatório de água de chuva. Assim, quando não houver descarte no reservatório, o volume de entrada da trincheira é nulo. Em seguida, calcula-se a vazão de saída constante da trincheira, apresentada pela equação 5.

$$q_s = \alpha \cdot K_{sat} \cdot 24 \cdot L \quad (5)$$

onde  $\alpha$  é o coeficiente redutor devido à colmatação (adimensional) e  $K_{sat}$  é a condutividade hidráulica saturada do solo ( $\text{mm/h}$ ).

Este processo segue as considerações definidas no método da Curva Envelope. Parte-se então para o balanceamento dos volumes reservados no início e no final do dia. Considera-se a trincheira inicialmente vazia, portanto o primeiro valor do volume no início do dia é considerado como zero. Nos próximos dias este volume é considerado igual ao volume no final do dia anterior. O volume no final do dia é calculado conforme equação 6.

$$V_t = V_e - q_s + V_{t-1} \quad (6)$$

onde  $V_t$  é o volume no final do dia ( $\text{m}^3$ );  $q_s$  é a vazão de saída constante do dispositivo ( $\text{mm/h}$ );  $V_{t-1}$  é o volume reservado no início do dia ( $\text{m}^3$ ).

Com a capacidade máxima de armazenamento da trincheira sendo igual ao

seu volume multiplicado pela porosidade do material de preenchimento, através do método iterativo se obtêm os comprimentos ideais.

### 3 Resultados e discussão

#### 3.1 Reservatório de água de chuva

Os reservatórios de água de chuva apresentaram volumes que variam entre 0,90 e 39,90  $\text{m}^3$ . Nota-se que os valores mais baixos se referem às situações que consideram menores demanda e eficiência. O valor para o volume do reservatório aumenta à medida que aumenta a demanda e a eficiência desejada. Além disso, quando a área de captação é relativamente pequena e se tem um alto volume de demanda, não é possível estimar o volume do reservatório. A tabela 1 apresenta os volumes necessários do reservatório para cada município.

#### 3.2 Trincheira de infiltração

Na Tabela 2 são apresentados os comprimentos das trincheiras de infiltração obtidos para o lote de 500  $\text{m}^2$ , com diferentes taxas de impermeabilização do lote, com a aplicação dos métodos da Curva Envelope e o método de PULZ. É importante ressaltar que a largura e a profundidade da trincheira foram adotadas como sendo 1,0 m.

Através do método da Curva Envelope, onde não se considera o aproveitamento da água de chuva, os valores obtidos para o comprimento da trincheira de infiltração variam entre 6,8 e 38,0 m. Verifica-se que o comprimento da trincheira aumenta conforme o percentual de área impermeabilizada. No método de PULS, onde se considera o reservatório de água de chuva funcionando em série, os valores obtidos para o comprimento da trincheira de infiltração variam entre 0,0 e 14,10 m. O valor para o comprimento da trincheira é igual a 0,00 m significa que não há nenhum descarte no reservatório de água de chuva, sendo então desnecessária a implantação da trincheira.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)  
v.15, n. 1, p. 52-59, jan./jul. 2013

Tabela 1 - Volume do reservatório (m<sup>3</sup>) de água de chuva para um lote de 500 m<sup>2</sup>

Área de captação (m <sup>2</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Ibirama			Ituporanga			Rio do Sul			Taió		
		Eficiência (%)			Eficiência (%)			Eficiência (%)			Eficiência (%)		
		80	90	95	80	90	95	80	90	95	80	90	95
100	5	1,5	2,6	3,9	1,4	2,5	3,8	1,4	2,3	3,7	1,5	2,5	3,8
	10	8,6	25,9	-	6,9	19,9	39,9	6,2	16,8	36,2	6	15,4	29,8
	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	5	1,2	1,9	2,6	1	1,7	2,5	1	1,7	2,4	1,1	1,9	2,7
	10	3	5,1	7,7	2,8	5	7,6	2,7	4,6	7,3	2,9	5	7,6
	15	6,5	13	21,5	5,8	11,6	19,6	5,6	11,2	18,5	5,9	11,1	17,8
300	5	1	1,7	2,4	1	1,5	2,2	0,9	1,4	2,1	1	1,7	2,4
	10	2,4	4,1	5,9	2,4	3,9	5,7	2,2	3,7	5,4	2,4	4,1	6
	15	4,5	7,7	11,6	4,1	7,4	11,3	4	6,9	11	4,3	7,5	11,3
400	5	1	1,5	2,1	0,9	1,4	2	0,9	1,4	1,9	1	1,5	2,3
	10	2	3,4	4,9	2	3,2	4,7	2	3,3	4,7	2,2	3,7	5,3
	15	3,5	5,8	8,4	3,3	5,5	8	3,5	5,8	8,8	3,7	6,4	9,4

Tabela 2 - Comprimento da trincheira (m) de infiltração para um lote de 500 m<sup>2</sup>

Município	Área impermeabilizada (%)	Demanda (m <sup>3</sup> )	Método da Curva Envelope	Método de PULS		
				Eficiência (%)		
				80	90	95
Ibirama	20	5	10,7	1,6	1,6	1,6
		10		1,6	1,6	0,9
		15		0,0	0,0	0,0
	40	5	15,3	3,2	3,2	3,2
		10		3,2	3,2	3,2
		15		3,1	3,1	3,2
	60	5	20,0	4,8	4,8	4,8
		10		4,7	4,7	4,7
		15		4,7	4,7	4,7
	80	5	24,6	6,3	6,3	6,3
		10		6,3	6,3	6,3
		15		6,3	6,3	6,3
Ituporanga	20	5	6,8	0,5	0,5	0,5
		10		0,5	0,5	0,5
		15		0,0	0,0	0,0
	40	5	9,7	1,0	1,0	1,0
		10		1,0	0,9	0,9
		15		0,9	0,9	0,9
	60	5	12,6	1,6	1,5	1,5
		10		1,5	1,5	1,5
		15		1,4	1,4	1,4
	80	5	15,5	2,1	2,1	2,1
		10		2,0	2,0	2,0
		15		2,0	1,9	1,9
Rio do Sul	20	5	14,6	2,9	2,9	2,9
		10		2,4	2,1	2,1
		15		0,0	0,0	0,0
	40	5	20,9	5,8	5,8	5,8
		10		5,7	5,7	5,7
		15		5,6	5,6	5,6
	60	5	27,2	8,7	8,7	8,7
		10		8,6	8,6	8,6
		15		8,6	8,6	8,6
	80	5	33,5	11,6	11,6	11,6
		10		11,5	11,5	11,5
		15		11,5	11,5	11,5
Taió	20	5	16,6	3,3	3,3	3,3
		10		2,9	2,9	2,6
		15		0,0	0,0	0,0
	40	5	23,8	6,9	6,8	6,8
		10		6,5	6,5	6,5
		15		6,0	6,0	6,0
	60	5	30,9	10,5	10,3	10,3
		10		10,2	10,2	10,2
		15		9,7	9,7	9,7
	80	5	38,0	14,1	14,0	13,8
		10		13,7	13,6	13,6
		15		13,5	13,4	13,4



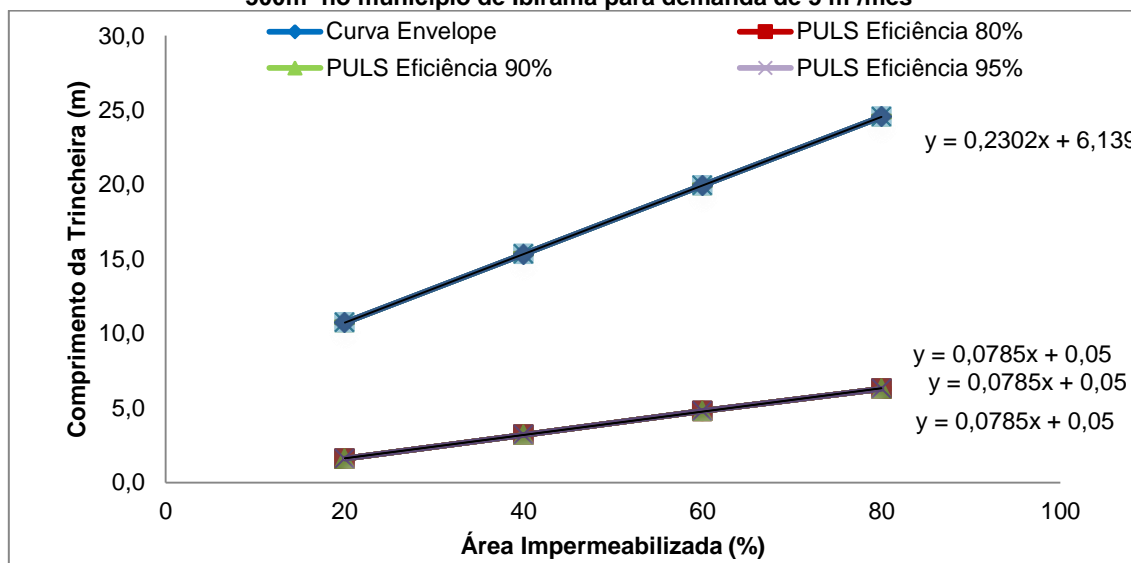
Com isso, verifica-se que há uma redução significativa no comprimento da trincheira de infiltração. Comparando-se os valores encontrados através do método da curva envelope, onde não se considera o funcionamento do reservatório de água de chuva em série, com os resultados obtidos pelo método de PULS, o qual considera o reservatório, evidencia-se a redução de volume no segundo caso. Dessa forma, constata-se que um dispositivo instalado em série, nesse caso o reservatório de água de chuva, reduz o volume da trincheira de infiltração.

Isto resulta na redução do custo de sua implantação e manutenção e, sobretudo, elimina o lançamento de escoamento superficial ao sistema de drenagem natural ou artificial. A edificação proporciona a manutenção das funções hidrológicas em nível do lote, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, através da redução do risco de inundações em áreas urbanas.

Na Figura 2 é apresentada a evolução dos comprimentos das trincheiras de infiltrações calculados em função da área impermeabilizada do lote de 500 m<sup>2</sup>, para demanda de 5 m<sup>3</sup>/mês. Fica bem evidenciada a diferença dos comprimentos calculados com a curva envelope e com o método de PULS para as diferentes eficiências de aproveitamento da água da chuva. Ressalta-se que as variações dos comprimentos da trincheira de infiltração são lineares, com coeficientes de determinação de Pearson próximo de 1,0. Resultado semelhante foi obtido para as demais condições, com demandas e áreas de estudo.

Assim, para taxas de impermeabilizações diferentes daquelas utilizadas neste estudo é possível determinar o comprimento da trincheira de infiltração a ser adotada. A interpolação ou extrapolação pode ser realizada através de uma equação linear, conforme mostrado na Figura 2 ou, através de interpolação linear, com os dados apresentados na Tabela 2.

Figura 2 - Comprimento da trincheira em relação ao percentual da área impermeabilizada para um lote de 500m<sup>2</sup> no município de Ibirama para demanda de 5 m<sup>3</sup>/mês



#### 4 Conclusões

Este trabalho destaca a importância dos dispositivos de controle na fonte, os quais auxiliam na redução do escoamento superficial ao utilizar a água proveniente das chuvas e fazer a infiltração do volume excedente. Com isso, diminui-se o consumo de água potável na edificação, contribui-se com a redução do

escoamento superficial lançado ao sistema de drenagem natural ou artificial. Estas ações contribuem para manutenção das funções hidrológicas nas construções sustentáveis.

Os resultados obtidos para a trincheira de infiltração indicam uma significativa redução em seu volume ao se associar um dispositivo em série, no caso o reservatório de água de chuva. Isso se deve ao fato de que o

reservatório coleta parte da precipitação incidente no lote, a qual será utilizada para fins não potáveis. Dessa forma, o volume

armazenado e utilizado não contribuirá para o volume de capacidade de infiltração da trincheira.

---

## 5 Infiltration trench in series with rainwater tank

**Abstract:** *The integration of the concepts of sustainable urban drainage and rational use of water constitutes an essential element in new enterprise implanted in urban areas. Therefore, this work aims to provide a support tool for the preliminary design of two measures of control runoff at the source, the infiltration trench and the reservoir of rainwater, working in series. The rainwater tank volume is obtained using the method of simulation, in which the input values depend on the daily rainfall series, the catchment area and water demand. Once the storage capacity of the tank is set, the excess volume is discarded. Obtaining the dimensions of the infiltration trench, in turn, was done by the methods of the Envelope Curve and the PULS. This method considers the reservoir operating in series and, therefore, the input is equal to the reservoir excess while the output volume is dependent on the water infiltration rate into the soil. Results indicate a significant reduction in the length of the trench when a device is installed in series. Furthermore, control measures at source help reduce runoff released into the drainage system and maintenance of hydrological functions in the lot level.*

**Keywords:** Compensatory measures. Infiltration trench. Harnessing of rainwater. Sustainable urban drainage. Rational use of water.

---

## 6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 23 set. 2013.

BARBOSA, G. S. **O desafio do desenvolvimento sustentável. Visões**: Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, jun. 2008.

CAMPBELL, G. S. **Soil physics with basic – transport models for soil/plant systems**. Developments in Soil Science 14, Amsterdam, Elsevier, 1985, 150 p.

EMBRAPA, **Solos do Estado de Santa Catarina**, Rio de Janeiro, 2004, 726p, (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 46).

LUCAS, A. H.; BARBASSA, A. P.; MORUZZ, R. B. Modelagem de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração pelo método de PULS adaptado para calibração de parâmetros. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p.225-236, abr. 2013.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p.15-23, mar. 2000.

REIGOTA, M. **Meio ambiente e representação social**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 1998. 87p.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: PROSAB, 2009. 397 p.

SILVEIRA, A. L. L. da; GOLDENFUM, J. A. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Florianópolis, v. 12, n. 2, p.157-168, abr. 2007.

TUCCI, Carlos E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. 389 p.